



Clube de Aerodelismo de Lisboa

AERODINÂMICA

– PORQUE VOA UM AVIÃO?

Por José Colarejo

Para a maioria das pessoas, a resposta à pergunta que serve de título a este artigo é quase evidente: – “Um avião voa porque tem asas!”

Para um aerodelista, esta resposta é naturalmente insuficiente, pois a pergunta seguinte seria: – “E que propriedade têm, afinal, as asas para permitir o voo?”

É pois a resposta a esta segunda pergunta que iremos tentar dar aqui, da forma mais simples possível.

Os aviões movem-se no seio de um elemento fluído que é o ar. O ar e a água, são os dois fluídos mais comuns na Natureza, mas cada um deles possui uma característica que estabelece uma diferença fundamental:

- o ar é um fluído compressível;
- a água é um fluído considerado praticamente incompressível.

Esta diferença, sendo muito importante para o estudo de diversos fenómenos, não é muito relevante para o que vai ser explicado seguidamente, pelo que será lícito recorrer a analogias hidráulicas que permitam visualizar melhor os fenómenos em análise.

Consideremos um rio, que vamos imaginar sem afluentes, ou seja, o seu caudal (quantidade de água transportada na unidade de tempo) será constante ao longo do seu percurso. É do conhecimento comum que o nosso rio correrá de forma muito rápida se estiver marginado por um desfiladeiro estreito, enquanto deslizará mansamente quando se espraia na planície. E voltará a correr mais depressa, se enfrentar outro desfiladeiro.

Significa isto que, para um caudal constante, a velocidade será maior para secções com menores áreas de passagem, e vice-versa.

Podemos ver esse efeito na figura 1, onde as duas situações estão exemplificadas, supondo uma conduta na qual passa água.

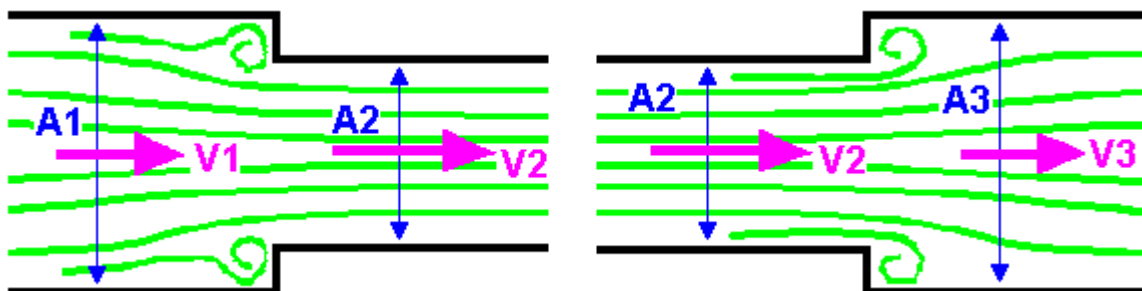


Figura 1



Clube de Aerodelismo de Lisboa

Vemos, assim, que a velocidade cujo valor é **V1**, à passagem na secção com a área **A1**, aumenta para **V2**, na passagem mais estreita **A2**, e volta a reduzir para **V3** na secção mais larga **A3**.

Para quem for mais dado às matemáticas, isso significa que o caudal de escoamento **Q** se mantém constante, enquanto as secções e velocidades variam inversamente. Ou seja:

$$Q = A1 \times V1 = A2 \times V2 = A3 \times V3 = \text{constante}$$

Pelo que, para **A2 < A1**, vem **V2 > V1**. E, inversamente, para **A3 > A2**, vem **V3 < V2**.

Para quem não quiser saber de matemáticas, interessa reter que:

$$\text{Caudal} = \text{Área} \times \text{Velocidade} = \text{constante}$$

O que acabámos de enunciar, constitui o chamado princípio da constância de caudais.

Como observação marginal, que não vem para o estudo que estamos a fazer, fica ainda a nota que as variações de secção, se forem bruscas, causam turbilhões (figura 1). É pois importante, para o bom rendimento do escoamento do fluído, que todas as superfícies sejam arredondadas e com formas suaves.

Voltando aos nossos aviões, e embora uma asa possa, no limite, ser uma tábua plana, é usual que tenha uma forma transversal especial a que chamamos perfil alar ou, simplesmente, perfil.

A figura 2 mostra dois tipos de perfil dos mais usados em aerodelismo. Só por uma questão de nomenclatura, recordemos que a superfície superior do perfil se chama extradorso enquanto a superfície inferior se chama intradorso. A linha imaginária que une o bordo de ataque com o bordo de fuga, chama-se corda.



PERFIL CÔNCAVO-CONVEXO



PERFIL BI-CONVEXO ASSIMÉTRICO

Figura 2

Do ponto de vista da Mecânica de Fluídos, apenas interessa o movimento relativo do ar em relação ao perfil. Isto é, tanto faz considerar o ar parado e o perfil em movimento, como o perfil parado enquanto o ar se move.



Clube de Aerodelismo de Lisboa

Tendo em atenção o anteriormente dito, e porque nos é mais cómodo para o raciocínio, vamos optar por considerar o perfil parado (como, por exemplo, quando está no interior de um túnel aerodinâmico), enquanto é submetido à passagem de um fluxo de ar.

Vamos agora fazer um pequeno exercício mental e imaginar duas condutas, que incluem um perfil côncavo-convexo, e por onde vai passar um fluxo de ar, a uma certa velocidade. Vamos chamá-lhes “conduta virtual superior” e “conduta virtual inferior” (ver figura 3).

As “paredes” imaginárias dessas “condutas” são constituídas da seguinte forma:

– *Parede inferior da conduta virtual superior*: Extradorso do perfil da asa, prolongado para a frente e para trás por planos horizontais, alinhados com a corda do perfil.

– *Parede superior da conduta virtual superior*: Plano horizontal colocado num ponto onde já praticamente não se note o efeito de deflexão do ar, provocado pela presença do perfil.

Identicamente:

– *Parede superior da conduta virtual inferior*: Intradorso do perfil da asa, prolongado para a frente e para trás por planos horizontais, alinhados com a corda do perfil.

– *Parede inferior da conduta virtual inferior*: Plano horizontal colocado num ponto onde já praticamente não se note o efeito de deflexão do ar, provocado pela presença do perfil.

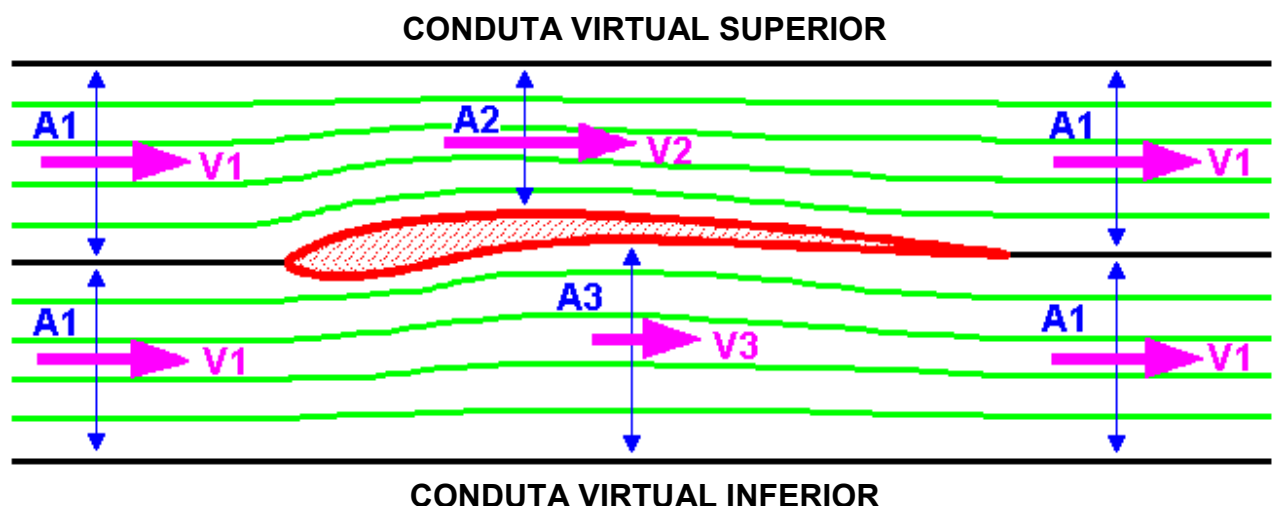


Figura 3

Se pudermos visualizar o escoamento do ar, vamos observar que, em relação a uma velocidade base de passagem V_1 , o ar vai aumentar de velocidade (V_2) na zona do extradorso do perfil, e reduzir de velocidade (V_3) na zona do intradorso do perfil, tal como já foi explicado na figura 1. Após a passagem pelo perfil, as velocidades tendem a recuperar para o valor original (V_1).



Clube de Aerodelismo de Lisboa

Existe uma fórmula da Mecânica de Fluidos, que se chama Equação de Bernoulli e que tem a seguinte forma:

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho} + h = \text{const.}$$

onde:

V – é a velocidade do escoamento (tomada ao quadrado), num dado ponto ;

g – representa a aceleração da gravidade;

P – é a pressão no seio do fluido, no ponto considerado;

ρ – representa a massa específica (densidade) do fluido;

h – é a altura, em relação a um certo referencial, do ponto onde se passa o fenómeno.

Sem nos deixarmos assustar pelos aspectos matemáticos, vamos ver o que tudo isto significa fisicamente. Para já, se considerarmos que vamos estudar o fenómeno sempre à mesma altura, podemos ignorar a parcela **h**.

Identicamente, se, para os vários pontos em análise, estivermos no mesmo local geográfico, tanto a aceleração da gravidade como a densidade do ar serão as mesmas. Então também podemos ignorar a presença dos factores **g** e **ρ** , porque serão sempre constantes.

Fica-nos, para balancear, a velocidade de escoamento e a pressão no seio do fluido.

Se ambos estes factores pertencem, cada um deles, a cada uma das parcelas de uma soma, não precisamos de matemáticas para perceber que, sendo a soma constante, então, se um dos factores aumentar, o outro tem necessariamente de diminuir.

Ou seja, como vamos ver na figura 4 (que é semelhante à figura 3), se tivermos uma corrente de ar, à pressão de base **P1** (que será a pressão atmosférica normal), escoando-se à velocidade **V1**, quando a velocidade aumenta à passagem pelo extradorso do perfil (**V2**), vamos ter uma redução de pressão, naquela zona, para o valor **P2**.

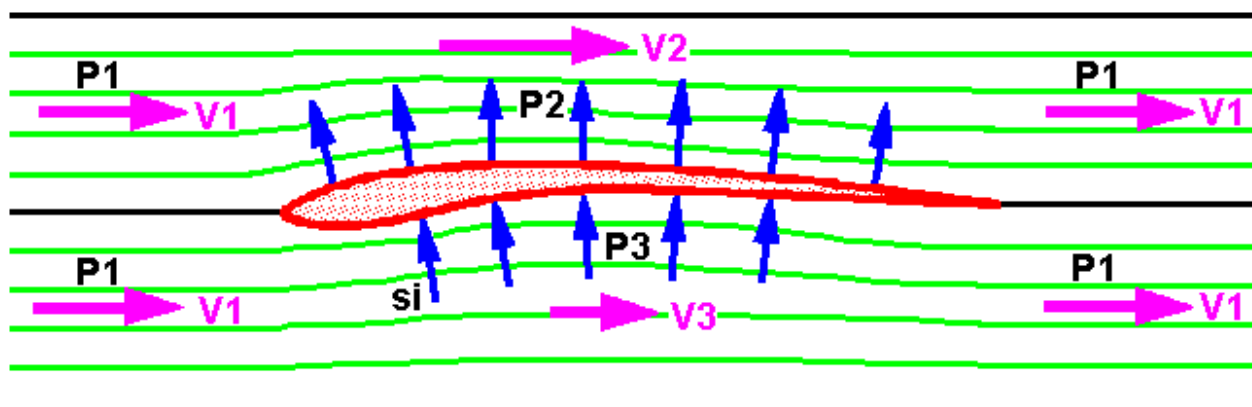


Figura 4



Clube de Aerodelismo de Lisboa

Notemos que, sendo P_2 menor que P_1 (que por sua vez é a pressão atmosférica normal), isso corresponde a um efeito de sucção.

De forma similar, no intradorso do perfil vai haver uma redução de velocidade, para o valor V_3 , a que corresponderá uma pressão P_3 , maior do que P_1 . Note-se que, sendo P_3 mais elevada do que a pressão atmosférica, isso corresponde a um efeito de compressão.

Ou seja, para $V_2 > V_1$, corresponde $P_2 < P_1$ e para $V_3 < V_2$, corresponde $P_3 > P_1$.

Este efeito pode ser facilmente observável com a ajuda do dispositivo que se indica na figura 5, o qual é constituído por três tubos de diferentes secções, ligados entre si por concordâncias cónicas. A um conjunto destes dá-se o nome genérico de venturi, se bem que esta designação possa ser aplicada a sistemas com formas muito variadas.

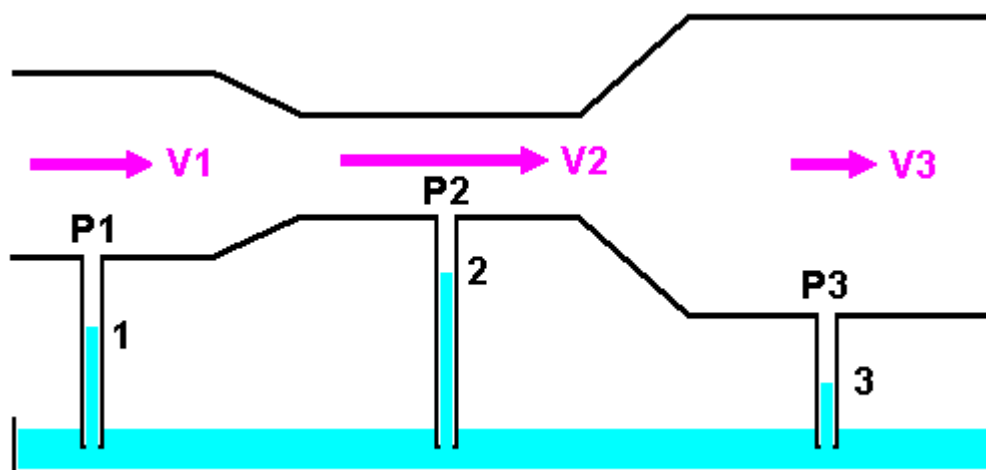


Figura 5

Através do dispositivo indicado, faz-se passar um fluxo de ar. Como já sabemos, em cada uma das secções vão existir velocidades diferentes, inversamente proporcionais à área da respectiva secção. Se, de cada uma das secções, baixar um pequeno tubo transparente, para uma tina com água, verificaremos que a água vai ser aspirada com tanto mais sucção quanto menor for a área da secção onde o tubo está ligado.

Isto acontece porque a pressão P_2 é menor do que a pressão P_1 . Por seu lado, a pressão P_3 é maior do que a pressão P_1 . Ou seja, tal como já tínhamos visto na figura 4:

$$P_2 < P_1 \text{ e } P_3 > P_1$$

Recordemos que todo o cenário exposto na figura 4 é virtual, à excepção do perfil que é bem real. É pois sobre este que se vão exercer as forças de sucção (no extradorso) e de compressão ou impulsão (no intradorso), representadas na figura 4 (a azul) por forças elementares (\mathbf{si}), supostamente distribuídas por toda a superfície da asa.



Clube de Aerodelismo de Lisboa

Ao conjunto dessas forças elementares damos o nome de força de sustentação, a qual supomos aplicada num único ponto teórico do perfil, denominado centro de pressões ou, também, centro de sustentação (ver figura 6).



$$\mathbf{S} = \sum \mathbf{s}_i$$

Figura 6

Acabámos de analisar o fenómeno da sustentação, visto num perfil côncavo-convexo que é o perfil por excelência aplicado nos planadores, e onde os fenómenos de sustentação, entre o extradorso e o intradorso, são aditivos. Trata-se de um perfil com características aerodinâmicas adequadas a baixas velocidades e com grande capacidade de sustentação a essas mesmas baixas velocidades.

Para maiores velocidades, usam-se perfis do tipo bi-convexo assimétrico (ver figura 2). Se aplicarmos a este tipo de perfis todo o raciocínio anterior, conclui-se que, neste caso, no intradorso acontece um fenómeno com efeitos opostos ao do intradorso. Isto é, as forças aplicadas são subtractivas, resultando a sustentação final da diferença predominante na zona de maior curvatura do perfil. Este tipo de perfil obtém a necessária sustentação à custa de maiores velocidades.

Resta falar das asas tipo “tábua”. Como se pode ver na figura 7, elas obtém a sua sustentação apenas à custa de um certo ângulo de ataque. No fundo, podem ser consideradas uma variante muito ligeira de um perfil assimétrico. A adicionar a este fenómeno, surge ainda um efeito da componente vertical da pressão dinâmica do ar ao “chocar” contra a superfície inferior.

Escusado seria dizer que só a acção de velocidades relativamente elevadas poderá obter uma sustentação significativa com um "perfil" destes.



Clube de Aerodelismo de Lisboa

Em modelos rudimentares de voo circular, encontramos muitas vezes asas de construção maciça, apenas ligeiramente arredondadas no bordo de ataque e um pouco desbastadas junto ao bordo de fuga, que são praticamente um perfil do tipo "tábua".

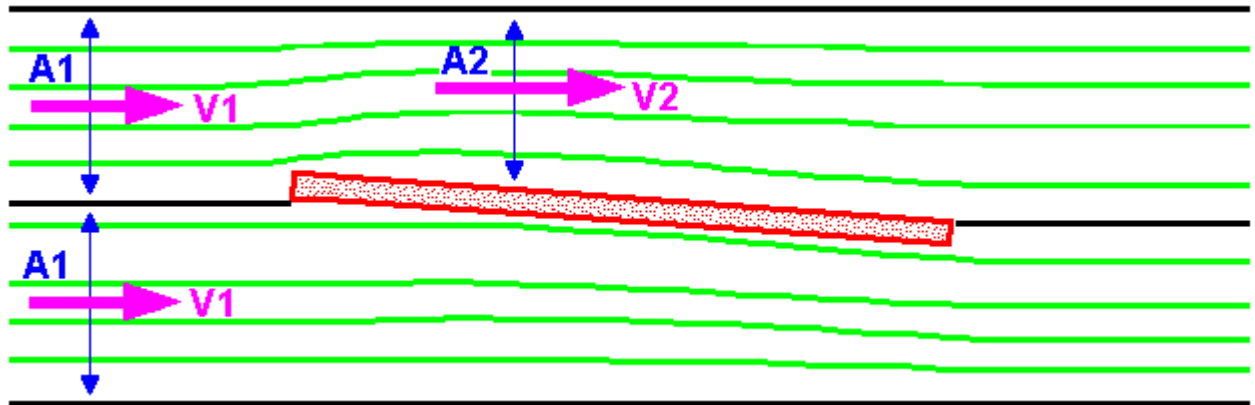


Figura 7

Agora já podemos responder, com consciência de causa, à pergunta inicial deste artigo:

- Os aviões voam porque o perfil das suas asas cria uma força aerodinâmica de sustentação !

Lisboa, 2001-04-09